

## TECNOLOGIA DE PLASMA FRIO: UMA ALTERNATIVA NÃO TÉRMICA PARA A SEGURANÇA ALIMENTAR

### COLD PLASMA TECHNOLOGY: A NON-THERMAL ALTERNATIVE FOR FOOD SAFETY

Gislaine de Almeida Santana Ientz<sup>1</sup>

Eloize Silva Alves<sup>2</sup>

Bruno Henrique Figueiredo Saqueti<sup>3</sup>

Carmen Torres Guedes<sup>4</sup>

Jesui Vergilio Visentainer<sup>5</sup>

**RESUMO:** O crescente interesse por alimentos seguros, minimamente processados e com elevada qualidade nutricional tem impulsionado o desenvolvimento de tecnologias não térmicas para conservação de alimentos. Entre essas tecnologias, o plasma frio destaca-se por sua elevada eficiência na inativação de microrganismos, aliada à preservação das características sensoriais e nutricionais dos alimentos. Este estudo teve como objetivo revisar a literatura científica sobre a aplicação do plasma frio no processamento e conservação de alimentos, abordando seus mecanismos de ação, parâmetros operacionais, aplicações, limitações e perspectivas futuras. A revisão foi realizada nas bases Google Acadêmico e Portal de Periódicos CAPES, considerando artigos publicados entre 2020 e 2026, em português e inglês, relacionados ao uso do plasma frio na indústria de alimentos. Os estudos demonstram que a tecnologia apresenta elevada eficácia na redução de bactérias patogênicas, fungos, biofilmes e micotoxinas, além de aplicações na extração de compostos bioativos, modificação de amidos e aumento da vida útil de diferentes matrizes alimentares. A ação antimicrobiana está associada principalmente à geração de espécies reativas de oxigênio e nitrogênio, radiação ultravioleta e efeitos físicos sobre a membrana celular. Em comparação aos tratamentos térmicos convencionais, o plasma frio promove menor degradação de nutrientes sensíveis e melhor preservação da cor, textura e sabor dos alimentos. Entretanto, sua ampla adoção industrial ainda enfrenta desafios relacionados à padronização dos parâmetros de processamento, ao elevado custo dos equipamentos, à avaliação da formação de subprodutos e à consolidação de regulamentações específicas. Conclui-se que o plasma frio representa uma tecnologia emergente promissora para aumentar a segurança microbiológica e prolongar a vida útil dos alimentos, embora estudos adicionais sejam necessários para viabilizar sua aplicação em escala industrial.

1

**Palavras-chave:** Plasma frio. Processamento não térmico. Segurança alimentar. Conservação de alimentos. Tecnologias emergentes.

<sup>1</sup>Doutoranda. Programa de Pós-Graduação em Ciências de Alimentos, Universidade Estadual de Maringá (UEM).

<sup>2</sup>Pós-doutoranda. Programa de Pós-Graduação em Ciências de Alimentos, Universidade Estadual de Maringá (UEM).

<sup>3</sup>Pós-doutorando. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Estadual de Maringá (UEM).

<sup>4</sup>Doutoranda. Programa de Pós-Graduação em Ciências de Alimentos, Universidade Estadual de Maringá (UEM).

<sup>5</sup>Docente Programa de Pós-Graduação em Ciências de Alimentos, Universidade Estadual de Maringá (UEM).

**ABSTRACT:** Growing interest in safe, minimally processed foods with high nutritional quality has driven the development of non-thermal food preservation technologies. Among these, cold plasma stands out due to its high efficiency in inactivating microorganisms, combined with the preservation of the food's sensory and nutritional characteristics. This study aimed to review scientific literature on the application of cold plasma in food processing and preservation, addressing its mechanisms of action, operating parameters, applications, limitations, and prospects. The review was conducted using Google Scholar and the CAPES Journal Portal, covering articles published between 2020 and 2026 in Portuguese and English regarding the use of cold plasma in the food industry. Studies demonstrate that technology is highly effective in reducing pathogenic bacteria, fungi, biofilms, and mycotoxins, in addition to having applications in bioactive compound extraction, starch modification, and shelf-life extension across various food matrices. Its antimicrobial action is primarily attributed to the generation of reactive oxygen and nitrogen species, ultraviolet radiation, and physical effects on the cell membrane. Compared to conventional thermal treatments, cold plasma causes less degradation of heat-sensitive nutrients and better preserves food color, texture, and flavor. However, its widespread industrial adoption still faces challenges related to the standardization of processing parameters, high equipment costs, the assessment of byproduct formation, and the establishment of specific regulations. It is concluded that cold plasma is a promising emerging technology for enhancing microbiological safety and extending food shelf life, although further studies are required to make its industrial-scale application feasible.

**Keywords:** Cold plasma. Non-thermal processing. Food safety. Food preservation. Emerging technologies.

## INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, observa-se uma crescente valorização por parte dos consumidores de alimentos que aliam praticidade, valor nutricional, qualidade sensorial, segurança microbiológica e longa vida útil (Jadhav; Choudhary, 2024). O tratamento térmico é amplamente utilizado na indústria alimentícia por sua eficácia na inativação de microrganismos patogênicos, contribuindo significativamente para a segurança dos alimentos. No entanto, o uso de temperaturas elevadas por períodos prolongados pode comprometer a qualidade do produto final. Entre os principais efeitos adversos estão a degradação de compostos nutricionais sensíveis ao calor, alterações nas propriedades sensoriais, como sabor, aroma e cor, e a perda da textura original dos alimentos, o que pode impactar negativamente sua aceitação pelo consumidor (Ferreira et al., 2025). Diante desse cenário, profissionais e pesquisadores da área têm direcionado seus esforços para o desenvolvimento e aplicação de tecnologias não térmicas (Rao et al., 2023). Essas abordagens inovadoras, além de operarem em temperaturas mais baixas, apresentam vantagens como maior eficiência energética, menor impacto ambiental e

preservação das características originais dos alimentos, posicionando-se como alternativas promissoras para atender às exigências do mercado contemporâneo (Jadhav; Choudhary, 2024).

Entre as tecnologias emergentes voltadas à descontaminação de alimentos, destacam-se a microfiltração (France et al., 2021), a luz pulsada (Zhou et al., 2026), a irradiação (Ferreira et al., 2025), o campo elétrico pulsado (Arshad et al., 2021; Pampoukis et al., 2026) e o plasma frio (Sriraksha et al., 2023). Apesar do potencial dessas abordagens, a regulamentação brasileira ainda não contempla seu uso de forma isolada, o que limita sua aplicação industrial. Além disso, o processamento térmico permanece como uma prática consolidada e amplamente utilizada pela indústria alimentícia, devido à sua eficácia comprovada. Para que qualquer tecnologia emergente possa substituir os métodos térmicos convencionais, é necessário apresentar vantagens significativas em termos de custo, qualidade do produto final ou funcionalidades adicionais que não possam ser alcançadas apenas com o uso de calor (Da Silva; Sehnem, 2025).

O plasma, reconhecido como o quarto estado da matéria, forma-se quando um gás é submetido a elevados níveis de energia, resultando na ionização de suas moléculas. Esse processo origina uma composição complexa de partículas, como íons, elétrons, fótons, radicais livres e átomos, que, apesar de sua diversidade, mantêm-se globalmente neutra em termos de carga elétrica. Por suas propriedades físico-químicas singulares, o plasma, especialmente em sua forma fria, tem se destacado como uma tecnologia promissora no processamento de alimentos, permitindo a inativação microbiana com mínima interferência nas características nutricionais e sensoriais dos produtos (Wang et al., 2022).

A definição precisa dos parâmetros operacionais do plasma frio ainda representa um dos principais desafios para sua aplicação, dificultando a padronização entre estudos e a transição da escala laboratorial para processos industriais (Sriraksha et al., 2023). Paralelamente, a viabilidade econômica dessa tecnologia exige uma análise criteriosa, considerando fatores como o custo dos equipamentos, o consumo energético e os gastos associados à produção (Gavahian, 2024). Embora o investimento inicial seja elevado, estima-se que, com o avanço da comercialização, as tecnologias não térmicas se tornem progressivamente mais acessíveis, sendo que os ganhos em qualidade sensorial podem justificar sua adoção (Jadhav; Choudhary, 2024).

Pesquisas têm evidenciado a eficácia do plasma frio na redução microbiana em alimentos. Em um estudo conduzido por Ding et al. (2026) demonstraram que a aplicação de plasma frio por descarga corona (9 kV) reduziu em 54% as células viáveis de *Escherichia coli* em leite semidesnatado e desnatado após três minutos de tratamento, sem alterar o pH ou a

coloração, além de eliminar completamente as células viáveis após uma semana de armazenamento, efeito mantido por seis semanas. Lin et al. (2020) demonstraram que o plasma frio utilizando nitrogênio como gás de arraste reduziu em 3,13 log UFC/cm<sup>2</sup> a contagem de *Salmonella Typhimurium* na superfície de ovos por meio de danos ao DNA microbiano, sem comprometer a qualidade superficial ou as características sensoriais do produto.

A escolha do tema decorre da relevância crescente das tecnologias não térmicas no setor alimentício, especialmente aquelas capazes de garantir segurança microbiológica sem comprometer os atributos nutricionais e sensoriais dos produtos. Entre essas, o plasma frio desponta como uma alternativa promissora frente à demanda por alimentos mais naturais e livres de conservantes químicos. Diante desse cenário, o presente estudo teve como objetivo realizar uma revisão sistemática da literatura sobre o uso do plasma frio como tecnologia emergente no processamento e conservação de alimentos, considerando sua relevância para a segurança microbiológica e a preservação da qualidade dos produtos.

## MÉTODOS

Foi realizada uma revisão narrativa da literatura nas bases Google Acadêmico e Portal de Periódicos CAPES, utilizando os descritores *cold plasma*, *cold atmospheric plasma*, *non-thermal processing*, *food preservation*, *food safety* e seus correspondentes em português. Foram incluídos artigos originais e de revisão publicados entre 2020 e 2026, em português e inglês, que abordassem a aplicação do plasma frio no processamento, conservação e segurança de alimentos. Após a remoção de duplicatas e a leitura dos títulos, resumos e textos completos, foram selecionados os estudos mais relevantes para fundamentar esta revisão.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### TECNOLOGIAS CONVENCIONAIS NA CONSERVAÇÃO DE ALIMENTOS

O tratamento térmico configura-se como uma das técnicas convencionais mais relevantes e amplamente empregadas na conservação de alimentos. A aplicação controlada de calor exerce efeito direto sobre a estabilidade dos produtos, promovendo a inativação de enzimas e a destruição de microrganismos, insetos e parasitas que comprometem sua qualidade e segurança. Para além da função conservadora, esse processo proporciona benefícios adicionais, como o prolongamento da vida útil dos alimentos, a redução ou até mesmo a eliminação da necessidade de refrigeração em determinadas situações, a prevenção do escurecimento

enzimático em frutas e hortaliças, a neutralização de fatores antinutricionais presentes em leguminosas e a melhoria da biodisponibilidade de nutrientes, favorecendo a digestibilidade das proteínas, a gelatinização dos amidos e a liberação de compostos. Dessa forma, o calor não apenas conserva, mas também transforma os alimentos, ampliando seu valor nutricional e funcional. Entre as técnicas que se destacam nesse contexto, duas têm papel central, a pasteurização e a esterilização, que são consideradas pilares fundamentais da conservação térmica (Deak; Mohácsi-Farkas, 2023).

## TECNOLOGIAS TÉRMICAS PREDOMINANTES

Entre as tecnologias térmicas predominantes, destaca-se a pasteurização como um tratamento térmico aplicado a diversos alimentos líquidos e semissólidos, realizado em temperaturas inferiores a 100 °C, com o objetivo de reduzir a carga microbiana e assegurar maior segurança ao consumidor. Esse processo é capaz de destruir microrganismos patogênicos e deteriorantes sensíveis ao calor, além de inativar enzimas que comprometem a qualidade dos produtos. No entanto, esporos e bactérias termorresistentes podem sobreviver ao tratamento, o que limita a vida útil dos alimentos tratados e o que torna necessária a associação da pasteurização a métodos complementares de conservação, como refrigeração, adição de conservantes ou utilização de embalagens em atmosfera modificada (Deak; Mohácsi-Farkas, 2023).

5

A esterilização por calor distingue-se como um processo de elevada intensidade, no qual os alimentos são submetidos a temperaturas superiores a 100 °C, geralmente em torno de 121 °C por alguns segundos. Esse tratamento tem como finalidade eliminar microrganismos patogênicos, enzimas e esporos, garantindo maior estabilidade microbiológica e ampliando de forma significativa a vida útil dos produtos. Diferentemente da pasteurização, que atua apenas na redução parcial da carga microbiana, a esterilização busca a completa inativação dos agentes capazes de comprometer a qualidade durante o armazenamento, permitindo que os alimentos sejam conservados em temperatura ambiente. Embora algumas formas esporuladas altamente resistentes possam sobreviver ao processo, elas não encontram condições adequadas para se multiplicar após o tratamento (Barmanray; Gaur; Soni, 2025). É nesse contexto que surge o conceito de esterilidade comercial, segundo o qual o alimento pode conter microrganismos ou esporos viáveis, mas estes permanecem inativos e incapazes de se desenvolver durante a

estocagem. Dessa forma, o produto é considerado seguro para o consumo e apto a manter sua qualidade por períodos prolongados (Deak; Mohácsi-Farkas, 2023).

Apesar de sua eficácia na conservação, os tratamentos térmicos podem provocar modificações indesejáveis nos alimentos, afetando atributos sensoriais como sabor, cor e textura. Essas alterações, mesmo quando discretas, tendem a reduzir a percepção de qualidade em comparação ao produto *in natura*, o que evidencia uma limitação importante desse tipo de tecnologia (Manin et al., 2023). Nesse cenário, ganham destaque as tecnologias emergentes, que se apresentam como alternativas promissoras para superar os desafios dos processos convencionais e ampliar as possibilidades de conservação com maior qualidade e segurança.

## TECNOLOGIAS EMERGENTES NA CONSERVAÇÃO DE ALIMENTOS

As tecnologias emergentes aplicadas ao processamento de alimentos vêm ganhando destaque por oferecerem soluções mais eficientes e menos agressivas à qualidade dos produtos. No grupo das abordagens térmicas inovadoras, destacam-se o aquecimento por micro-ondas, radiofrequência e aquecimento ôhmico, que proporcionam transferência de calor mais rápida e homogênea, minimizando os efeitos adversos associados à exposição prolongada a altas temperaturas (Barmanray; Gaur; Soni, 2025; Dhar; Chakraborty, 2024; Gavahian, 2024).

6

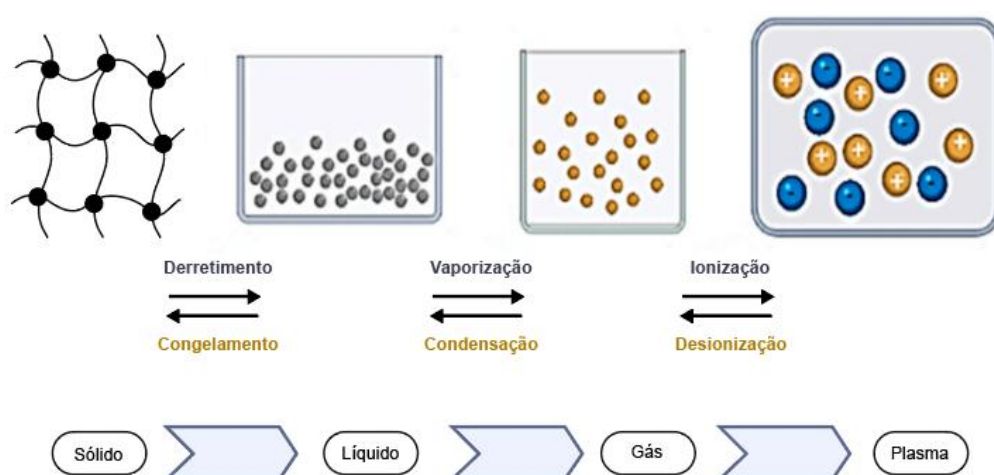
Em paralelo, métodos não térmicos como campos elétricos pulsados, alta pressão hidrostática, luz ultravioleta, ultrassom, irradiação e plasma frio têm se mostrado promissores por promoverem a inativação microbiana sem necessidade de aquecimento intenso, o que favorece a preservação dos atributos sensoriais e nutricionais dos alimentos (Lisboa et al., 2024; Zhang et al., 2025).

A incorporação efetiva dessas tecnologias à indústria depende não apenas da compreensão aprofundada de seus fundamentos, aplicações e limitações operacionais, mas também da análise de sua viabilidade econômica e da compatibilidade com as estruturas produtivas existentes. Isso porque sua implementação pode demandar investimentos expressivos e adaptações significativas nos processos industriais, fatores que influenciam diretamente a sustentabilidade e a eficiência dos sistemas produtivos (Da Silva; Sehnem, 2025; Moatsou, 2024).

## PLASMA

O plasma, reconhecido como o quarto estado da matéria, corresponde a uma fase gasosa altamente ionizada, apresentando uma composição quase neutra formada por íons, elétrons livres, átomos e moléculas em seus estados fundamentais ou excitados, resultando em uma carga líquida globalmente neutra (Wende; Brandenburg, 2022).

O plasma é uma forma ionizada de gás que abriga uma diversidade de componentes ativos, incluindo espécies reativas de oxigênio (ERO: O, O<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, OH) e de nitrogênio (ERN: NO, NO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>), além de radicais livres, partículas carregadas e radiação ultravioleta (UV) (Ahmadi et al., 2026). Sua geração ocorre por meio da aplicação de energia elétrica a um gás estático ou em fluxo, posicionado entre dois eletrodos submetidos a uma elevada diferença de potencial. Esse campo elétrico promove a ionização do gás, resultado das colisões entre elétrons livres e moléculas neutras (Laroque et al., 2022), conforme ilustrado na Figura 1.



**Figura 1:** Evolução Estrutural da Matéria: Sólido, Líquido, Gás e Plasma.

**Fonte:** adaptado de Harikrishna et al. (2023).

A classificação do plasma pode ser realizada com base no método de geração, sendo dividido em duas categorias principais: plasma em equilíbrio termodinâmico, também denominado plasma térmico, e plasma fora do equilíbrio, conhecido como plasma de baixa temperatura. O plasma térmico é composto por íons, elétrons e moléculas gasosas que coexistem em equilíbrio termodinâmico, geralmente em temperaturas próximas a 20.000 K. Por sua vez, o plasma de baixa temperatura subdivide-se em duas modalidades: plasma quase-equilibrado, com temperaturas entre 100 e 150 °C, e plasma não térmico, cuja temperatura global é inferior a 60 °C. No plasma quase-equilibrado, observa-se equilíbrio local entre espécies como elétrons e

moléculas gasosas. Já no plasma não térmico, os elétrons apresentam temperaturas significativamente superiores às das espécies mais pesadas, sem que haja equilíbrio termodinâmico local, o que resulta em uma temperatura média reduzida para o sistema como um todo. Essa última forma de plasma é referida na literatura científica por diferentes denominações, tais como plasma não térmico, plasma frio atmosférico, plasma atmosférico frio ou, simplesmente, plasma frio (Boulos; Fauchais; Pfender, 2023).

## PLASMA FRIO ATMOSFÉRICO

O plasma frio tem se consolidado como uma tecnologia não convencional de grande relevância, sobretudo por unir ação antimicrobiana eficaz à operação em condições de temperatura moderada, o que o torna uma alternativa promissora para a inativação de microrganismos em alimentos (Acar, 2025). Essa característica, além de assegurar segurança microbiológica, tem favorecido seu reconhecimento como uma solução ambientalmente adequada para a descontaminação de diferentes matrizes alimentares, como vegetais, frutas, laticínios e produtos cárneos (Keewan et al., 2025). Entre os benefícios adicionais, destacam-se a redução do consumo de água, a ausência de resíduos químicos e o uso do ar atmosférico como gás de trabalho, reforçando seu potencial sustentável (Domonkos et al., 2021).

8

Do ponto de vista tecnológico, o plasma frio é gerado em condições de temperatura atmosférica, a partir da ionização de diferentes gases — como  $H_2$ ,  $O_2$ ,  $He$ ,  $N_2$ ,  $Ar$ ,  $Ne$ ,  $CF_4$ ,  $CH_4$  e  $NH_3$  — submetidos a campos elétricos de distintas naturezas, incluindo corrente alternada de alta frequência, corrente contínua, micro-ondas, radiofrequência ou campo magnético. Esse processo resulta na formação de partículas altamente reativas, como íons, radicais livres e elétrons, que colidem com elevada energia cinética e desempenham papel central na ação antimicrobiana (Wende; Brandenburg, 2022).

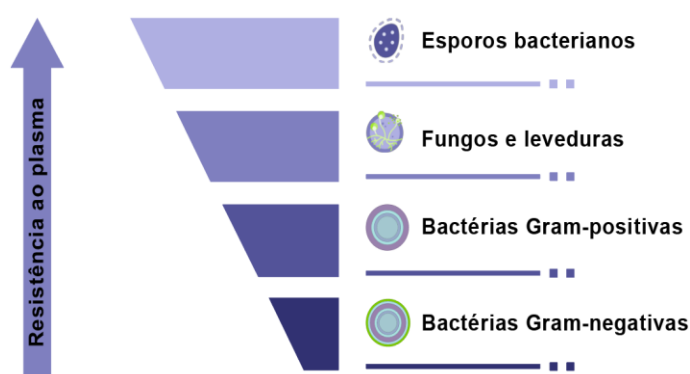
## MECANISMO E PARÂMETROS PARA A INATIVAÇÃO MICROBIANA

Na literatura, os mecanismos de inativação microbiana associados ao plasma frio são geralmente classificados em biológicos e físicos. Entre os efeitos biológicos, destaca-se a ação da radiação ultravioleta (UV), capaz de provocar alterações diretas no DNA. A emissão de UV pelo plasma, especialmente em torno de 260 nm, pode induzir a formação de dímeros entre bases nitrogenadas, como timina e citosina, comprometendo a replicação celular e, conseqüentemente, a viabilidade dos microrganismos (Moonsub et al., 2024). Outro

mecanismo biológico amplamente descrito é a oxidação de estruturas celulares e de componentes intracelulares, como proteínas, lipídios, carboidratos e ácidos nucleicos. Os lipídios polinsaturados, por estarem localizados próximos à superfície celular e apresentarem alta suscetibilidade às espécies reativas de oxigênio (ROS), são considerados os mais vulneráveis. Essas ROS desempenham papel central ao induzir estresse oxidativo, desencadear apoptose e modificar proteínas essenciais, processo atribuído à ação dos radicais hidroxila gerados pelo plasma frio atmosférico (Lv; Cheng, 2022).

No campo dos mecanismos físicos, dois processos se destacam. O primeiro é a ruptura eletrostática, resultante do acúmulo de partículas instáveis que exercem forças capazes de romper a membrana celular, levando à morte microbiana. O segundo é a eletroporação, caracterizada pela formação de poros na membrana que permitem o extravasamento de constituintes vitais, como o citoplasma, culminando na perda irreversível da integridade celular (Eced-Rodríguez et al., 2024; Zhang et al., 2026).

A ação antimicrobiana do plasma frio não depende de um único fator, mas resulta da interação de diversas variáveis que influenciam diretamente sua eficácia. Entre os aspectos mais relevantes, destacam-se os fatores ambientais, como temperatura e umidade relativa; as características intrínsecas dos alimentos, incluindo teor de umidade, pH, composição, propriedades da superfície e relação área/volume; e os parâmetros de processamento, que abrangem tensão aplicada, frequência, composição e fluxo do gás, tipo e disposição dos eletrodos, além do padrão de exposição (Bangar et al., 2022). Também exercem influência o tempo de tratamento (Feizollahi; Misra; Roopesh, 2021), o tamanho do reator (Laroque et al., 2022), bem como as particularidades dos microrganismos (Figura 2), como espécie, cepa, fase de crescimento e carga inicial (Feizollahi; Misra; Roopesh, 2021). Deve-se também considerar se o processo é conduzido de forma direta ou indireta, fator que pode alterar significativamente os resultados obtidos (Wang et al., 2023).



**Figura 2:** Sensibilidade dos microrganismos ao plasma frio atmosférico.

**Fonte:** adaptado de (Wang et al., 2023; Yinxin et al., 2022).

Pesquisas têm demonstrado que o plasma frio atua de maneira distinta sobre bactérias Gram-negativas e Gram-positivas, revelando diferenças estruturais importantes nos mecanismos de lesão celular (Ezzati et al., 2025). No caso das Gram-negativas, o envelope celular apresenta-se como o principal alvo das espécies reativas de oxigênio e da radiação ultravioleta, resultando em processos oxidativos que comprometem a parede celular e culmina na liberação de constituintes intracelulares, como proteínas, lipídios e ácidos nucleicos. Já nas Gram-positivas, embora os efeitos sejam igualmente severos, os danos concentram-se em estruturas internas, sem provocar ruptura da membrana ou extravasamento de componentes celulares (Wang et al., 2023).

Apesar da comprovada eficácia do plasma frio na descontaminação microbiana, os alimentos constituem matrizes altamente complexas, formadas por uma diversidade de componentes como amidos, proteínas, lipídios, vitaminas, minerais, água e inúmeros microconstituintes. Nesse contexto, a escolha criteriosa do tipo de alimento, da formulação e dos parâmetros de processamento torna-se essencial para reduzir possíveis alterações físico-químicas e preservar as características sensoriais do produto (Laroque et al., 2022).

## INTERAÇÃO COM COMPONENTES ALIMENTARES

Tanto durante o tratamento quanto no armazenamento, a aplicação de plasma frio afeta as características qualitativas dos alimentos. O processamento em temperaturas mais baixas permite um tratamento mais brando de vitaminas sensíveis e melhor preservação de nutrientes e compostos de sabor (Zhang et al., 2022).

Em relação aos aspectos físicos, identificou-se efeito mínimo sobre cor em condições moderadas. Em condições severas pode haver descoloração. A textura costuma ser preservada, mas o amolecimento foi observado em frutas e grãos. Também foram observados efeitos negativos sobre lipídios e modificação carboidratos. Vitaminas sensíveis à oxidação também podem ser afetadas pelo tratamento. Além disso, a capacidade de nanoemulsões ou do próprio plasma frio de interagir e se inserir na membrana celular ainda tem efeitos desconhecidos na matriz biológica (Harikrishna et al., 2023).

## TIPOS DE GERADORES DE PLASMA E PARÂMETROS OPERACIONAIS

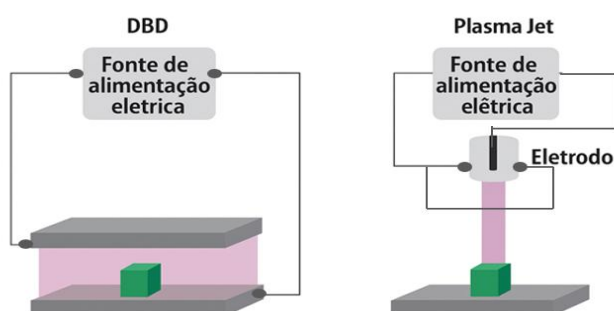
O plasma pode ser gerado a partir de jatos de plasma, descargas em barreira dielétrica (DBD), descargas corona, descargas micro-ondas e radiofrequência (González-González et al., 2021). A depender do gás utilizado para a produção de plasma, podem formar uma mistura de plasma, agentes ativos, como átomos, moléculas, radicais livres, espécies ativas, íons e radiação UV (Ahmadi et al., 2026).

Os jatos de plasma (plasma jet) normalmente utilizam dois eletrodos separados por uma distância da ordem de poucos milímetros, nos quais o gás de processo é ionizado sob tensões de energia. Devido às dimensões reduzidas, esse tipo de descarga consegue alcançar regiões estreitas das amostras, e o plasma gerado apresenta elétrons com energia média significativamente maior do que a dos íons e das moléculas neutras do gás (Viegas et al., 2022).

Na descarga em barreira dielétrica (DBD), os eletrodos são separados por um material dielétrico, que limita a corrente e permite a formação do plasma. Nessa configuração, é possível empregar uma ampla gama de gases em baixas vazões. A DBD pode ser montada em diferentes geometrias, como arranjos planos, co-planos ou descargas de superfície, e o regime de descarga pode variar entre formas mais homogêneas ou descargas localizadas em microrregiões. A definição da configuração e do tipo de descarga depende de parâmetros de processo, como a natureza do gás de arraste e a distância entre os eletrodos. Entre as principais vantagens desse sistema estão a flexibilidade na escolha do gás de arraste, o baixo consumo de gás quando comparado a outras configurações e a possibilidade de adaptação a diferentes condições e aplicações (Do Nascimento et al., 2023).

11

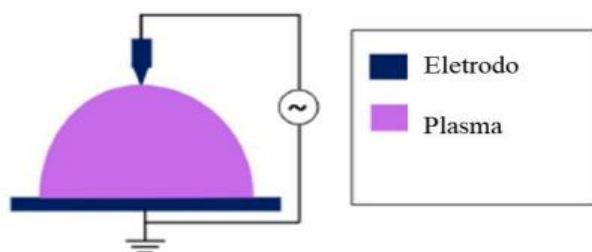
A Figura 3 demonstra a representação gráfica do jato de plasma e do DBD. Tais equipamentos caracterizam-se por temperaturas de elétrons na faixa de  $10^4$ – $10^8$  K, sendo os mais aplicados nas indústrias de alimentos, demonstrando eficácia na inativação de enzimas, bem como no aumento da atividade da amilase e de compostos com atividade antioxidante (Paucar-Menacho; Moreno-Rojo; Chuqui-Diestra, 2024).



**Figura 3:** Representação gráfica dos equipamentos de plasma frio: DBD e plasma jet.

**Fonte:** Adaptado de Paucar-Menacho; Moreno-Rojo; Chuqui-Diestra (2024).

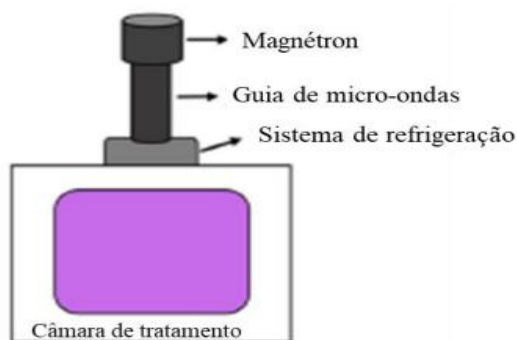
A descarga corona é caracterizada por um brilho localizado que se forma nas extremidades ou em fios de pequeno diâmetro, em situações em que o campo elétrico é fortemente não uniforme. Nessa condição, a aplicação de alta tensão torna o campo elétrico ao redor do eletrodo bastante desigual. Como resultado, o gás neutro existente nas proximidades da superfície curva do eletrodo passa a ser ionizado devido à intensa concentração de campo elétrico nessa região (Laroque et al., 2022). A Figura 4 apresenta a representação esquemática deste tipo de gerador.



**Figura 4:** Representação esquemática de plasma frio de descarga corona.

**Fonte:** Laroque et al. (2022).

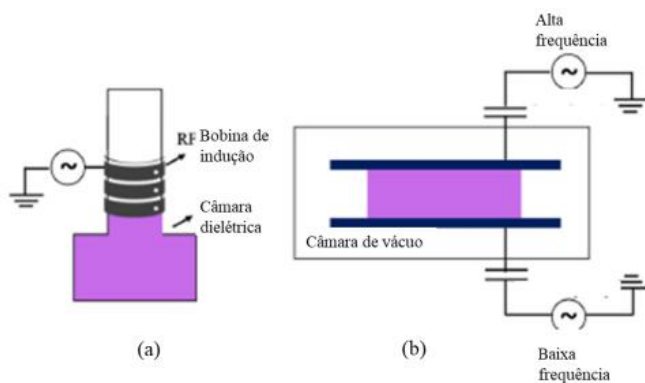
As descargas por micro-ondas são, em geral, geradas por um magnetron, que produz ondas eletromagnéticas em torno de 2,45 GHz. Essas ondas são conduzidas até a câmara de processo por uma guia de ondas ou cabo coaxial, onde interagem com os elétrons do gás e promovem sua ionização (Pal et al., 2026). O campo elétrico de micro-ondas acelera os elétrons das moléculas de gás, permitindo a formação de plasma frio sem o uso de eletrodos, em condições de baixa pressão ou próximas à pressão atmosférica. Esse tipo de sistema é aplicado, por exemplo, em processos de descontaminação e esterilização de superfícies, embora o custo operacional e os requisitos técnicos de segurança limitem sua utilização em escala industrial (Laroque et al., 2022). A Figura 4 apresenta a representação esquemática do plasma frio de descarga por micro-ondas.



**Figura 4:** Representação esquemática de plasma frio de descarga por micro-ondas.

Fonte: Laroque et al. (2022).

A radiofrequência pode gerar diferentes tipos de plasma, entre os quais se destacam o plasma acoplado indutivamente, os plasmas capacitivamente acoplados - amplamente utilizados em aplicações industriais - e as ondas de helicon (Laroque et al., 2022). A Figura 5 apresenta a esquemática de plasma a frio por radiofrequência.



**Figura 5:** Representação esquemática de plasma a frio por radiofrequência, (a) plasmas capacitivamente acoplados e (b) plasma acoplado indutivamente.

Fonte: Laroque et al. (2022).

A Tabela 1 apresenta alguns parâmetros operacionais empregados no uso de plasma frio em alimentos.

**Tabela 1.** Parâmetros operacionais empregados no uso de plasma frio em alimentos

| Alimento                | Parâmetros                                                                                  | Referência                                        |
|-------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| Broto de arroz integral | Potência: 1-3 kV; corrente: 1,2 mA; pressão: 800 Pa; tempo: 10 min.                         | Pauca-Menacho; Moreno-Rojo; Chuqui-Diestra (2024) |
| Pitaya                  | Potência: 40, 50, 60 e 70 kV; tempo: 1, 3, 5 e 7 min.                                       |                                                   |
| Suco de siriguela       | Potência: 80 W; frequência: 50 kHz; vazão de gás: nitrogênio 10-30 mL/min; tempo: 5-15 min. |                                                   |

|                       |                                                                                                                                               |                      |
|-----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|
| Broto de feijão-mungo | Potência: 5 kV; frequência: 40 kHz; tempo: 15, 30, 60 e 90 s.                                                                                 |                      |
| Suco de romã          | Potência: 4 W; fluxo de gás: argônio 0,75; 1 e 1,25 dm <sup>3</sup> /min; campo elétrico: 25 kHz; volume de amostra: 3, 4 e 5 cm <sup>3</sup> |                      |
| Queijo                | Potência: 60 kV, 80 kV e 100 kV; mistura de gases (65% de O <sub>2</sub> , 30% de CO <sub>2</sub> , 5% de N <sub>2</sub> ); até 5 minutos     | Wan et al. (2021)    |
| Leite                 | Potência: 9 kV; descarga corona; 0, 3, 6, 9, 12, 15 e 20 minutos a uma baixa temperatura de 35 °C.                                            | Rathod et al. (2021) |
|                       | Potência: 9 kV; gás argônio; 2 minutos a frequências de 2,5 e 4 kHz.                                                                          |                      |

Fonte: Autores (2026).

## APLICAÇÃO NA INDÚSTRIA DE ALIMENTOS

O plasma frio tem sido aplicado em alimentos com diversos objetivos, dentre eles a destruição de biofilmes, a descontaminação por micotoxinas, a degradação de pesticidas, a modificação estrutural de amidos, a inativação de microrganismos como bactérias, bolores, leveduras e esporos na superfície de alimentos, a extração de compostos bioativos, a modificação de proteínas, entre outros (Paucar-Menacho; Moreno-Rajo; Chuqui-Diestra, 2024; Puente-Díaz, 2024).

As projeções para o emprego de plasma frio na área de alimentos apontam para a necessidade de avançar na sua consolidação em escala industrial, o que envolve tanto a definição e padronização de condições operacionais quanto a compreensão mais detalhada de como o processo interage com a matriz alimentícia (Jihad; Al-Sammarraie; Al-Aani, 2024).

A Tabela 2 apresenta resultados obtidos em diferentes matrizes alimentares e diferentes objetivos nos quais o plasma frio foi utilizado.

**Tabela 2.** Estudos realizados aplicando o plasma frio no tratamento de alimentos.

| Objetivo da aplicação do plasma                  | Matriz alimentar     | Características                                                                                                                                       | Resultados                                                                                           | Referências         |
|--------------------------------------------------|----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| Redução de aflatoxinas, ocratoxinas, fumonisinas | Avelãs, café e milho | Plasma DBD, gases N <sub>2</sub> , 0,1% O <sub>2</sub> , 1% O <sub>2</sub> , 21% O <sub>2</sub> , potência 400, 700, 1000, 1150, 1. 2. 4 e 12 minutos | Redução de 70% das aflatoxinas totais e aflatoxina B <sub>1</sub> em avelãs<br><br>Redução de 50% do | Puente-Díaz, (2024) |

|                                                 |                         |                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                            |                                      |
|-------------------------------------------------|-------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|
|                                                 |                         | DBD, Mistura comercial de He, potência 30W, voltagem 850 , 0, 1, 4, 8, 12, 16, 20, 24 e 30 minutos<br><br>Plasma jet, He com O <sub>2</sub> 0,5% e 0.75%, v/v, voltagem de 6 kV, 5, 10, 20, 40 e 60 minutos | conteúdo em café<br><br>Redução de até 66% para aflatoxina B <sub>1</sub> e fumosina B <sub>1</sub> em milho               |                                      |
| Inativação de microrganismos - <i>E.coli</i>    | Cidra de maçã           | Plasma jet, Ar simulado e 90 % N <sub>2</sub> +10 % O <sub>2</sub> , 0 a 180 s                                                                                                                              | Redução de até 3,29 log UFC/mL em cidra de maçã                                                                            |                                      |
| Inativação de microrganismos - <i>S. aureus</i> | Nuggets de pescado      | Plasma jet, Ar e He, potência 12 e 22 kV, 4, 6 e 10 minutos                                                                                                                                                 | Redução de até 1,04 log UFC/mL em nuggets de pescado                                                                       |                                      |
| Extração de compostos bioativos                 | Farelo de arroz e milho | DBD, ar e vazio, potência 220 a 260 V, 5 a 30 minutos                                                                                                                                                       | Maiores rendimentos de extração de oligossacarídeos, melhor digestão gástrica <i>in vitro</i> e resposta anti-inflamatória |                                      |
| Conservação                                     | Fatias de maçã          | Plasma jet, pressões de 1 e 5 atm, 3 e 6 minutos                                                                                                                                                            | Maior umidade, manutenção das características                                                                              | Jihad; Al-Sammarraie; Al-Aani (2024) |
| Inativação de <i>S. aureus</i>                  | Morangos                | Jatos de plasma a frio sob pressão atmosférica, a uma frequência de 10 kHz durante 15 minutos de exposição.                                                                                                 | Redução de 1,6 log de <i>S. aureus</i> após 5 minutos de tratamento e de 2,3 log após 15 minutos.                          | (Soni; Choi; Brightwell, 2021)       |

**Fonte:** Autores (2026).

Em revisões mais amplas sobre tecnologias emergentes de processamento não térmico, o plasma é apontado como parte de um cenário em que diferentes tecnologias, como campos elétricos pulsados, ultrassom e ozônio, tendem a ser combinadas em arranjos de “tecnologias de barreira”, visando maior eficiência microbiológica com menor impacto sobre nutrientes e propriedades sensoriais. Nesse contexto, projeta-se o desenvolvimento de equipamentos contínuos, adaptados para integração em linhas de produção, com maior nível de automação, monitoramento em linha e uso de modelagem e controle avançado para ajustar, de forma mais precisa, os parâmetros de tratamento em função da composição e da categoria de alimento (Paucar-Menacho; Moreno-Rojo; Chuqui-Diestra, 2024).

## REGULAMENTAÇÕES E SEGURANÇA

Do ponto de vista regulatório, o plasma frio ainda é classificado como tecnologia emergente de processamento não térmico, sem um enquadramento plenamente estabelecido na maior parte das jurisdições. A revisão destaca que a aprovação dessa tecnologia depende da apresentação de dossiês abrangentes, que integrem evidências de eficácia microbiológica com dados de formação de subprodutos, estabilidade ao longo da vida de prateleira e impacto sobre a qualidade nutricional e sensorial. As agências reguladoras tendem a exigir demonstrações claras de que o processo não gera resíduos químicos ou compostos tóxicos em níveis preocupantes e de que a identidade e a qualidade do alimento são preservadas dentro de parâmetros aceitáveis, apontando para a necessidade de padronização de condições de processo e de critérios harmonizados para sua avaliação (Huang et al., 2026).

No tocante à segurança, ainda há lacunas relevantes, sobretudo em relação à avaliação toxicológica de médio e longo prazo. A literatura disponível concentra-se majoritariamente na eficácia microbiológica, enquanto menos estudos se dedicam à caracterização detalhada dos subprodutos gerados pela ação das espécies reativas de oxigênio e nitrogênio sobre a matriz alimentar. Permanece, portanto, a necessidade de elucidar em que medida esses processos podem levar à formação de compostos indesejáveis em níveis significativos e quais seriam seus efeitos tóxicos ou genotóxicos, demanda que implica ampliar estudos *in vitro* e *in vivo*. Assim, embora os resultados atuais indiquem bom desempenho quanto à redução microbiana e à manutenção da qualidade em diferentes matrizes, o próprio artigo reforça que a base de evidências ainda é insuficiente para conclusões definitivas sobre a segurança do uso do plasma frio em larga escala (Harikrishna et al., 2023).

16

## PERSPECTIVAS FUTURAS

No que se refere às perspectivas e aos desafios futuros, mostra-se essencial aprofundar a compreensão dos efeitos do plasma frio sobre compostos específicos e macronutrientes essenciais, tais como vitaminas, lipídios, carboidratos e proteínas presentes nos alimentos. Ademais, ressalta-se a relevância e o potencial de temas como o escalonamento do processo, o desenvolvimento de marcos regulatórios e a investigação de novas aplicações em âmbito industrial (Puente-Díaz, 2024).

Também observa-se a necessidade de consolidar a tecnologia em condições industriais, com padronização de parâmetros de processo. Estudos que indicam que o plasma é capaz de

prolongar a vida de prateleira e manter características de qualidade, reforçam seu potencial como alternativa ou complemento a processos térmicos convencionais, especialmente em linhas de produtos refrigerados, prontos para consumo e com apelo de frescor (Jihad; Al-Sammarraie; Al-Aani, 2024).

## CONCLUSÃO

O plasma frio destaca-se como uma tecnologia emergente promissora para o processamento e conservação de alimentos, uma vez que promove segurança microbiológica e auxilia na preservação da qualidade. Em contraste com as tecnologias térmicas convencionais, como pasteurização e esterilização por exemplo, o plasma causa menor danos a nutrientes sensíveis e a aspectos sensoriais como cor, textura e sabor. Além disso, observa-se que ele oferece vantagens relevantes, como operação em temperatura ambiente, menor consumo de água, e possibilidade de uso do ar atmosférico como gás de trabalho. O tratamento apresenta eficácia na inativação de diferentes microrganismos, incluindo bactérias patogênicas, e na redução de micotoxinas, além de apresentar potencial em aplicações como modificação de amidos, extração de compostos bioativos e tratamento de superfícies de alimentos e embalagens.

17

Por outro lado, ainda se destacam limitações importantes, como o custo inicial dos equipamentos, a necessidade de padronização de sistemas e condições de processo, além de incertezas relativas à formação de subprodutos de oxidação e seus impactos toxicológicos em médio e longo prazo. Para que essa tecnologia atinja maturidade industrial, são essenciais avanços na compreensão dos efeitos sobre componentes alimentares e da formação de subprodutos e na construção de marcos regulatórios claros, baseados em critérios harmonizados de avaliação de segurança e qualidade.

## AGRADECIMENTOS E FINANCIAMENTO

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro.

## REFERÊNCIAS

ACAR, Berat Cinar. Impact of Different Application Parameters of Cold Atmospheric Plasma on Foodborne Pathogen Inactivation. **Microscopy Research and Technique**, v. 88, n. 7, p. 1964-1978, 27 jul. 2025.

AHMADI, Mohsen *et al.* Gas Plasma-Derived Reactive Species for Oxidative and Biomaterial Modifications—Smart Chemistry Enabling Biomedical Applications. **Advanced Healthcare Materials**, v. 15, n. 11, 18 mar. 2026.

ARSHAD, Rai Naveed *et al.* Pulsed electric field: A potential alternative towards a sustainable food processing. **Trends in Food Science & Technology**, v. 111, p. 43–54, maio 2021.

BANGAR, Sneha Punia *et al.* Cold plasma for microbial safety: Principle, mechanism, and factors responsible. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 46, n. 12, 4 dez. 2022.

BARMANRAY, Aradhita; GAUR, Mukesh; SONI, Anjali. Heat Transfer and Pasteurization Techniques in Food and Dairy Processing. In: DEKA, S. C.; NICKHIL, C.; HAGHI, A. K. (Orgs.). **Engineering Solutions for Sustainable Food and Dairy Production**. [S.l.]: Cham: Springer, 2025. p. 125–157.

BOULOS, Maher I.; FAUCHAIS, Pierre L.; PFENDER, Emil. Thermodynamic Properties of Plasmas. In: BOULOS, M. I.; FAUCHAIS, P. L.; PFENDER, E. (Orgs.). **Handbook of Thermal Plasmas**. Cham: Springer International Publishing, 2023. p. 211–256.

DA SILVA, Tiago Hennemann Hilario; SEHNEM, Simone. The utilization of Industry 4.0 technologies to enhance the circular economy through the engagement of stakeholders in Brazilian food technology companies. **Business Strategy and the Environment**, v. 34, n. 1, p. 129–161, 30 jan. 2025.

DEAK, Tibor; MOHÁCSI-FARKAS, Csilla. Thermal Treatment. In: ANDERSEN, V.; LELIEVELD, H.; MATARJEMI, Y. (Orgs.). **Food Safety Management**. 2nd Ed. ed. Amsterdam: Elsevier, 2023. p. 405–419.

DHAR, Rishab; CHAKRABORTY, Snehasis. Bael (Aegle marmelos) beverage pasteurization by non-isothermal heating with continuous microwave to achieve microbial safety. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 97, p. 103801, out. 2024.

DING, Nina *et al.* Current status, challenges, and future prospects of non-thermal sterilization technologies in dairy products. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 66, n. 5, p. 913–932, 14 fev. 2026.

DO NASCIMENTO, Felype *et al.* Plasma Electrode Dielectric Barrier Discharge: Development, Characterization and Preliminary Assessment for Large Surface Decontamination. **Plasma Chemistry and Plasma Processing**, v. 43, n. 6, p. 1791–1817, 25 nov. 2023.

DOMONKOS, Mária *et al.* Applications of Cold Atmospheric Pressure Plasma Technology in Medicine, Agriculture and Food Industry. **Applied Sciences**, v. 11, n. 11, p. 4809, 24 maio 2021.

ECED-RODRÍGUEZ, Laura *et al.* Sublethal Damage Caused by Cold Plasma on *Bacillus cereus* Cells: Impact on Cell Viability and Biofilm-Forming Capacity. **Foods**, v. 13, n. 20, p. 3251, 13 out. 2024.

EZZATI, Shiva *et al.* Cold Plasma-Mediated Inactivation of Spore-Forming Microorganisms: Mechanisms, Quality Attributes, and Efficiency Parameters. **Food Science & Nutrition**, v. 13,

n. 6, 18 jun. 2025.

FEIZOLLAHI, Ehsan; MISRA, N. N.; ROOPESH, M. S. Factors influencing the antimicrobial efficacy of Dielectric Barrier Discharge (DBD) Atmospheric Cold Plasma (ACP) in food processing applications. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 61, n. 4, p. 666–689, 21 fev. 2021.

FERREIRA, Cintia Stefhany Ripke *et al.* Optimized application of UV-C radiation in human milk: Combined effects on microbiological control of total coliforms and *Lactobacillus* spp., and the quality of fatty acids and minerals. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 141, p. 107332, maio 2025.

FRANCE, Thomas C. *et al.* The influence of temperature on filtration performance and fouling during cold microfiltration of skim milk. **Separation and Purification Technology**, v. 262, p. 118256, maio 2021.

GAVAHIAN, Mohsen. Opinion on the prospects of emerging food processing technologies to achieve sustainability in the industry by reduced energy consumption, waste reduction and valorisation, and improved food nutrition. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 59, n. 11, p. 8135–8140, 12 out. 2024.

GONZÁLEZ-GONZÁLEZ, Cid R. *et al.* The effect of cold atmospheric plasma and linalool nanoemulsions against *Escherichia coli* O157:H7 and *Salmonella* on ready-to-eat chicken meat. **LWT**, v. 149, p. 111898, set. 2021.

HARIKRISHNA, Sadhula *et al.* Cold plasma as an emerging nonthermal technology for food processing: A comprehensive review. **Journal of Agriculture and Food Research**, v. 14, p. 100747, dez. 2023.

19

HUANG, Jiangqi *et al.* Cold Plasma as a Promising Non-Thermal Strategy for Enhancing Food Safety: A Review of Microbial and Mycotoxin Decontamination. **Molecules**, v. 31, n. 3, p. 517, 2 fev. 2026.

JADHAV, Harsh B.; CHOUDHARY, Pintu. Emerging techniques for the processing of food to ensure higher food safety with enhanced food quality: a review. **Discover Food**, v. 4, n. 1, p. 20, 2 abr. 2024.

JIHAD, Ghaith H.; AL-SAMMARRAIE, Mustafa A. J.; AL-AANI, Firas. Effect of cold plasma technique on the quality of stored fruits - A case study on apples. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 28, n. 3, mar. 2024.

KEEWAN, Mohammad *et al.* Atmospheric-Pressure Cold Plasma: A Next-Generation Nonthermal Technology for Enhancing Food Safety, Quality, and Shelf Life. **Food Frontiers**, v. 6, n. 6, p. 2766–2788, 23 nov. 2025.

LAROQUE, Denise Adamoli *et al.* Cold plasma in food processing: Design, mechanisms, and application. **Journal of Food Engineering**, v. 312, p. 110748, jan. 2022.

LIN, Lin *et al.* Inhibitory effect of cold nitrogen plasma on *Salmonella Typhimurium* biofilm and its application on poultry egg preservation. **LWT**, v. 126, p. 109340, maio 2020.

LISBOA, Hugo Miguel *et al.* Innovative and Sustainable Food Preservation Techniques: Enhancing Food Quality, Safety, and Environmental Sustainability. **Sustainability**, v. 16, n. 18, p. 8223, 21 set. 2024.

LV, Xiaoye; CHENG, Jun-Hu. Evaluation of the Effects of Cold Plasma on Cell Membrane Lipids and Oxidative Injury of Salmonella typhimurium. **Molecules**, v. 27, n. 3, p. 640, 19 jan. 2022.

MANIN, Luciana Pelissari *et al.* Effects of pasteurization and high-pressure processing on the fatty acids, triacylglycerol profile, Dornic acidity, and macronutrients in mature human milk. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 115, n. March 2022, p. 104918, 2023.

MOATSOU, Golfo. Emerging Technologies for Improving Properties, Shelf Life, and Analysis of Dairy Products. **Foods**, v. 13, n. 7, p. 1078, 1 abr. 2024.

MOONSUB, Kochakon *et al.* Synergistic Effect of Plasma-Activated Water with Micro/Nanobubbles, Ultraviolet Photolysis, and Ultrasonication on Enhanced Escherichia coli Inactivation in Chicken Meat. **Processes**, v. 12, n. 3, p. 567, 13 mar. 2024.

PAL, Priti *et al.* Microwave-induced cold plasma generation for societal applications. **Journal of Electromagnetic Waves and Applications**, v. 40, n. 4, p. 636–661, 4 mar. 2026.

PAMPOUKIS, George *et al.* The decontamination efficacy of pulsed electric field in food: Establishing global kinetic parameters. **International Journal of Food Microbiology**, v. 447, p. 111547, fev. 2026.

PAUCAR-MENACHO, Luz María; MORENO-ROJO, Cesar; CHUQUI-DIESTRA, Saúl Ricardo. Emerging non-thermal technologies in the food industry: Advances and potential applications in food processing. **Scientia Agropecuaria**, v. 15, n. 1, p. 65–83, 5 fev. 2024.

PUENTE-DÍAZ, Luis. Principios, aplicaciones y efectos de la aplicación de plasma frío en alimentos: una revisión actualizada. **Revista chilena de nutrición**, v. 51, n. 2, p. 155–164, abr. 2024.

RAO, Wei *et al.* The Application of Cold Plasma Technology in Low-Moisture Foods. **Food Engineering Reviews**, v. 15, n. 1, p. 86–112, 3 mar. 2023.

RATHOD, Nikheel Bhojraj *et al.* Cold plasma an emerging nonthermal technology for milk and milk products: A review. **International Journal of Dairy Technology**, v. 74, n. 4, p. 615–626, 23 nov. 2021.

SONI, Aswathi; CHOI, Jonghyun; BRIGHTWELL, Gale. Plasma-Activated Water (PAW) as a Disinfection Technology for Bacterial Inactivation with a Focus on Fruit and Vegetables. **Foods**, v. 10, n. 1, p. 166, 15 jan. 2021.

SRIRAKSHA, M. S. *et al.* Cold plasma technology: An insight on its disinfection efficiency of various food systems. **Food Science and Technology International**, v. 29, n. 4, p. 428–441, 29 jun. 2023.

VIEGAS, Pedro *et al.* Physics of plasma jets and interaction with surfaces: review on modelling and experiments. **Plasma Sources Science and Technology**, v. 31, n. 5, p. 053001, 1 maio 2022.

WAN, Zifan *et al.* High voltage atmospheric cold plasma treatment of *Listeria innocua* and *Escherichia coli* K-12 on Queso Fresco (fresh cheese). **LWT**, v. 146, p. 111406, jul. 2021.

WANG, Lang-Hong *et al.* Investigation on the impact of quality characteristics and storage stability of foxtail millet induced by air cold plasma. **Frontiers in Nutrition**, v. 9, 7 dez. 2022.

WANG, Yuhan *et al.* Bactericidal efficacy difference between air and nitrogen cold atmospheric plasma on *Bacillus cereus*: Inactivation mechanism of Gram-positive bacteria at the cellular and molecular level. **Food Research International**, v. 173, p. 113204, nov. 2023.

WENDE, Kristian; BRANDENBURG, Ronny. Cold Physical Plasma: A Short Introduction. In: METELMANN, H. R. *et al.* (Orgs.). **Textbook of Good Clinical Practice in Cold Plasma Therapy**. Cham: Springer International Publishing, 2022. p. 37–62.

YINXIN, Liu *et al.* Effect of cold atmospheric plasma on the gray mold rot of postharvest mulberry fruit. **Food Control**, v. 137, p. 108906, jul. 2022.

ZHANG, Bo *et al.* Impacts of Cold Plasma Technology on Sensory, Nutritional and Safety Quality of Food: A Review. **Foods**, v. 11, n. 18, p. 2818, 13 set. 2022.

ZHANG, Changyan *et al.* Recent advances in cold plasma technology for enhancing the safety and quality of meat and meat products: A comprehensive review. **Food Research International**, v. 202, p. 115701, fev. 2025.

ZHANG, Xinyuan *et al.* Cold atmospheric plasma triggers *Bacillus subtilis* membrane vesicles secretion through SOS-endolysin pathway and iron homeostasis modulation with antipathogen efficacy. **Chemical Engineering Journal**, p. 179628, jul. 2026.

21

ZHOU, Yanwei *et al.* Research Progress of Pulsed Light in the Food Industry: Working Principles, Applications and Combination with Other Technologies. **Food Reviews International**, v. 42, n. 6, p. 4136–4162, 18 ago. 2026.